

OFDM 기반 ISAC 시스템을 위한 스케줄링 자원 인지형 센싱 기법

이영석^o, 정방철^o아주대학교 AI 융합네트워크학과^o, 아주대학교 전자공학과^o

youngseoklee@ajou.ac.kr, bcjung@ajou.ac.kr

요 약

본 논문에서는 OFDM 기반 ISAC 시스템에서 부분 점유된 자원 블록 환경을 고려한 센싱 기법을 제안한다. 제안 기법은 전체 자원 블록에 센싱 신호를 중첩 전송하고, 점유 자원에서는 통신 신호를 검파 및 제거한 뒤 센싱에 활용한다. 모의실험을 통해 제안 기법이 추가 자원 없이도 거리 추정 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

1. 서론

차세대 이동통신에서는 통신과 센싱을 동시에 지원하는 통합 센싱 및 통신(integrated sensing and communication: ISAC) 기술이 핵심 연구 분야로 주목받고 있다 [1]. 특히 직교 주파수 분할 다중화(orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 기반 ISAC 시스템은 기존 통신 인프라를 활용할 수 있어 높은 실용성을 가진다. 그러나 기존 방식은 센싱을 위해 별도 자원을 미리 할당하는 경우가 많다. 반면 실제 OFDM 통신 시스템에서는 스케줄링에 따라 일부 자원 블록(resource block: RB)만 점유되고 나머지는 유휴 상태로 남을 수 있어, 자원 점유 상태를 고려한 센싱 운용이 필요하다. 본 논문에서는 센싱 전용 자원을 별도로 할당하지 않고, 스케줄링된 자원 상태를 고려한 센싱 기법을 제안한다. 제안 기법은 전체 자원에 중첩된 센싱 신호 중 점유 자원에서는 통신 신호를 제거한 후, 비점유 자원과 함께 활용하여 센싱 성능을 향상시킨다.

2. 제안하는 스케줄링 자원 인지형 센싱 기법

본 논문에서는 단일 기지국이 M 개의 통신 단말을 지원하면서 단일 타겟을 모노스태틱 레이다 방식으로 센싱하는 OFDM-ISAC 시스템을 고려한다. 전체 시간-주파수 자원은 다수의 RB로 구성되며 각 RB는 N_{sc} 개 부반송파와 N_{sym} 개의 OFDM 심볼로 구성된다. 이때, 각 통신 단말에 대한 자원 할당 및 스케줄링은 RB 단위로 수행된다고 가정한다.

이때 일부 RB에만 통신 신호가 존재하고 나머지 RB는 유휴 상태로 남을 수 있다. 제안하는 기법은 센싱 전용 자원을 별도로 할당하지 않고, 모든 자원에 센싱 신호를 중첩 전송한 뒤 통신 신호가 존재하는 자원에서는 이를 검파 및 제거하여 센싱에 활용한다. 따라서, 특정 RB (r_f, r_t) 에서의 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{r_f, r_t}(\mathbb{C}^{N_{sc} \times N_{sym}}) = o[r_f, r_t] \sqrt{P_c} (\mathbf{H}_{r_f, r_t}^m \odot \mathbf{X}_{r_f, r_t}^m) + \sqrt{P_s} (\mathbf{G}_{r_f, r_t} \odot \mathbf{S}_{r_f, r_t}) + \mathbf{W}_{r_f, r_t}$$

여기서 $o[r_f, r_t]$ 는 해당 RB의 통신 신호 존재 여부를 나타내는 지시 변수이고, \mathbf{H}_{r_f, r_t}^m 와 \mathbf{X}_{r_f, r_t}^m 는 각각 m 째 통신 단말과 기지국 간 채널과 통신 신호를 나타낸다. 또한, \mathbf{G}_{r_f, r_t} , \mathbf{S}_{r_f, r_t} , \mathbf{W}_{r_f, r_t} 는 각각 센싱 채널, 센싱 신호, 잡음 성분을 나타낸다 [1]. 따라서, $o[r_f, r_t] = 0$ 인 RB는 센싱에 직접 활용되며 $o[r_f, r_t] = 1$ 인 RB는 통신 신호 검파 및 제거 후 센싱에 활용된다.

3. 모의실험 결과 및 결론

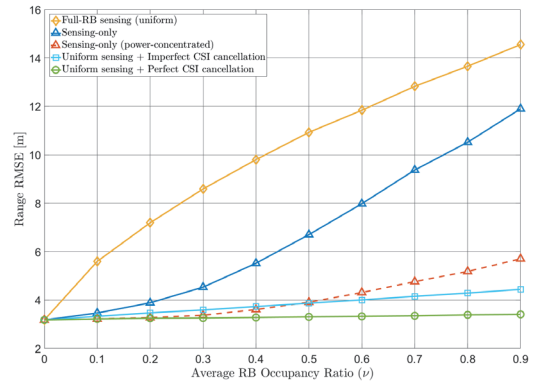


그림 1. 평균 RB 점유율에 따른 거리 RMSE 성능 비교.

그림 1은 평균 RB 점유율에 따른 거리 RMSE 성능을 나타낸다. 모의실험은 5 개의 RB, $N_{sc} = 12$, $N_{sym} = 14$, 반송파 주파수 3.5 GHz, 부반송파 간격 15 kHz 환경에서 수행하였고, 통신 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio: SNR)는 10 dB, 센싱 SNR은 -10 dB로 설정하였다. 모의실험 결과, 센싱 RB만 활용하는 경우 RB 점유율이 증가할수록 성능이 열화되었다. 센싱 RB에 전력을 집중한 기법은 낮은 점유율에서 우수한 성능을 보였으나, 유휴 RB 감소로 인해 높은 점유율에서는 성능이 저하되었다. 반면 통신 신호 제거 기반 기법은 완전한 채널 상태 정보 가정 시 가장 낮은 RMSE를 달성하였고, 불완전한 경우에도 성능 향상을 보였다.

4. ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(No. RS-2025-02303435)의 지원을 받아 수행된 연구임.

5. 참고문헌

- [1] J. Baek, Y. -S. Lee, I. -K. Lee, and B. C. Jung, "Generalized signal phase inversion-based NOMA technique for 6G integrated sensing and communication systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Oct. 2025 (Early access).